

Reabilitação e energia

## ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM RESÍDUOS DE CERÂMICA – INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DOS RESÍDUOS

Gina Matias<sup>1</sup>, Paulina Faria<sup>2</sup>, Isabel Torres<sup>3</sup>

(1) Doutoranda na especialidade de Construções, pela FCTUC, e Técnica Superior no ITeCons, UC, Coimbra.

Membro CICC, [ginamatias@itecons.uc.pt](mailto:ginamatias@itecons.uc.pt)

(2) Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa. Membro CICC., [paulina.faria@fct.unl.pt](mailto:paulina.faria@fct.unl.pt)

(3) Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra.

Membro CICC. [itorres@dec.uc.pt](mailto:itorres@dec.uc.pt)

### RESUMO ARTIGO

*Um dos erros mais frequentes nos dias que correm é a aplicação de argamassas de substituição ou reparação na reabilitação de edifícios antigos que não são compatíveis com os materiais pré-existent. Para além do resultado inestético, esta má aplicação tem como consequência a ocorrência de patologias relativamente graves devido ao mau funcionamento do sistema construtivo. No passado, recorria-se, frequentemente, a argamassas de cal aérea, nas quais eram introduzidos materiais que permitiam melhorar as características das mesmas, conferindo-lhes características de argamassas hidráulicas. Um dos materiais mais recorrentes era o pó de cerâmica, cujos primeiros registos de utilização remontam à época do Império Romano. É possível encontrar, em Portugal, vestígios desta utilização, em locais como Conímbriga e Tróia. Por outro lado, tendo em conta a problemática dos resíduos industriais e o desenvolvimento sustentável, é importante criar soluções que reduzam o depósito, em aterro, dos desperdícios provenientes da indústria, nomeadamente da indústria cerâmica, que ronda os 30 % do total de material produzido.*

*Neste sentido, foram recolhidos, em diversas indústrias, elementos cerâmicos provenientes das linhas de produção, com características não conformes com os requisitos de qualidade e que são, habitualmente, depositados em aterros.*

*Os elementos foram triturados. O pó resultante da moagem foi caracterizado e incorporado em argamassas de cal aérea, bem como o restante material, em granulometria próxima à da areia utilizada. Foi efetuada a caracterização mecânica e física das argamassas elaboradas, cuja evolução, ao longo do tempo, se apresenta neste trabalho.*

*Palavras-chave: Resíduos cerâmicos; argamassas de substituição; sustentabilidade.*



## I. INTRODUÇÃO

O relatório de desperdícios da indústria cerâmica realizado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, relativo ao ano de 2003 [Andrade 2004] indica que os resíduos provenientes do processo produtivo rondam cerca de 96% da totalidade dos resíduos produzidos pelas indústrias responsáveis pelo fabrico de peças cerâmicas - tijolos, ladrilhos, telhas e outros produtos construtivos - nesta região; 37% destes resíduos correspondem a cacos cozidos e são maioritariamente depositados em aterro. É mencionada uma quantidade de 6927 toneladas de resíduos produzidos pelas indústrias de fabricação de tijolos e telhas, durante o ano de 2005, só na região Centro de Portugal.

A adição de materiais argilosos, nomeadamente produtos cerâmicos finamente moídos, a argamassas de cal aérea, é anterior ao período do Império Romano, podendo ser observada a sua utilização por diversas civilizações. Tendo permanecido até à actualidade, as argamassas produzidas com base nestes materiais revelam uma durabilidade considerável, sobretudo quando a cerâmica utilizada é cozida a temperaturas mais baixas [Böke et al. 2006]. Por outro lado, o recurso a este tipo de materiais em granulometrias adequadas pode revelar-se um bom substituto do agregado tradicional, potenciando assim a redução da extração de matéria-prima de origem natural. Tem-se verificado que a substituição de agregado comum por agregado proveniente de resíduos cerâmicos, por exemplo em argamassas cimentícias [Binici 2006], dá origem a produtos com características bastante satisfatórias.

O presente estudo tem como objetivo o alargamento do conhecimento relativamente a materiais passíveis de serem integrados em argamassas de reabilitação de edifícios antigos, tendo em conta a melhoria técnica do desempenho destas através do reaproveitamento de resíduos industriais. Será analisado o caso específico de materiais provenientes da indústria cerâmica.

Em granulometria fina, o material cerâmico poderá desempenhar a função de pozolana, melhorando algumas das características das argamassas de cal aérea e conferindo-lhes propriedades hidráulicas [Faria-Rodrigues & Henriques 2004]. Permitirá, eventualmente, reduzir a quantidade de ligante corrente necessário, e, como tal, as emissões poluentes e o consumo de recursos naturais e de energia inerentes da sua produção. Na granulometria de agregado, os resíduos de cerâmica potenciam a redução da incorporação de materiais de origem natural e a reutilização de materiais habitualmente depositados em aterro. Será então possível produzir argamassas viáveis, quer do ponto de vista técnico, quer do ponto de vista da sustentabilidade.

## II. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Foram produzidas e caracterizadas argamassas de cal aérea com três resíduos cerâmicos - de tijolos (B), de telhas (T) e de vasos (P) -, integrados integralmente nas argamassas após moagem, em substituição parcial do volume do agregado corrente, nas percentagens de 20% (L) e de 40% (H). Foram ainda produzidas argamassas com os mesmos resíduos mas só em granulometria grossa, por eliminação da fração fina passada no peneiro 0,063mm (respectivamente LG e HG). Utilizou-se como agregado corrente uma areia de rio e como ligante uma cal aérea em pó (Tabela 1).

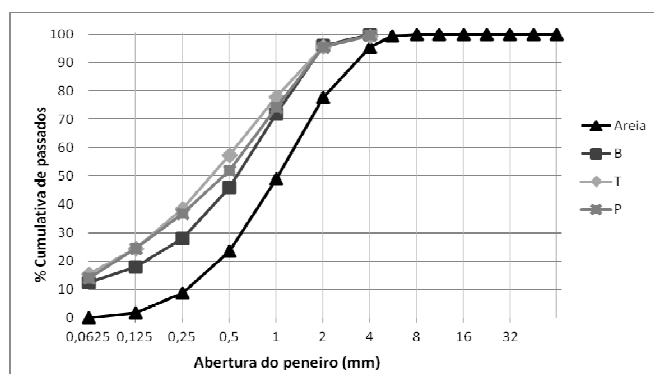


**Tabela 1.** – Traços volumétricos das argamassas estudadas

Designação	B		T		P		Areia	Cal aérea
	Pó	Grosso	Pó	Grosso	Pó	Grosso		
Ref. <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	3	1
LB	0,6		-	-	-	-	2,4	1
HB	1,2		-	-	-	-	1,8	1
LT	-	-	0,6		-	-	2,4	1
HT	-	-	1,2		-	-	1,8	1
LP	-	-	-	-	0,6		2,4	1
HP	-	-	-	-	1,2		1,8	1
LGB	-	0,6	-	-	-	-	2,4	1
HGB	-	1,2	-	-	-	-	1,8	1
LGT	-	-	-	0,6	-	-	2,4	1
HGT	-	-	-	1,2	-	-	1,8	1
LGP	-	-	-	-	-	0,6	2,4	1
HGP	-	-	-	-	-	1,2	1,8	1

## 1. Caracterização de materiais

Determinaram-se as curvas granulométricas dos resíduos resultantes da moagem e da areia (Figura 1). A diferença significativa entre estas curvas ocorre apenas no que diz respeito à quantidade de finos, que nas argamassas G (grosso) não foram utilizados.

**Figura 1** – Curvas granulométricas dos agregados utilizados (resíduos moídos e areia)

## 2. Caracterização das argamassas

Todas as argamassas foram preparadas adicionando a água necessária para obter uma consistência por espalhamento da ordem dos 150 mm, de acordo com a EN 1015-3:1999. As argamassas com resíduos endureceram mais rapidamente que a argamassa de referencia nos dias iniciais de cura, dentro de saco de plástico. Procedeu-se a caracterização física e mecânica e os resultados médios obtidos são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

### A) Características físicas

A determinação da permeabilidade ao vapor de água foi realizada aos 60 e 120 dias de idade das argamassas, de acordo com a norma ISO 12572:2001, pelo método da tina húmida. Verifica-se que as argamassas com resíduo integral em percentagem mais baixa apresentam permeabilidades ligeiramente superiores relativamente às respectivas argamassas com percentagem mais alta. Nas argamassas que contêm apenas resíduo grosso, esta tendência já não se verifica. Nestas verifica-se que a argamassa com percentagem elevada de resíduo grosso de vasos possui uma permeabilidade significativamente superior a todas as restantes.

**Tabela 2** – Permeabilidade ao vapor de água, coeficiente de capilaridade, índice de secagem e porosidade aberta

Argamassa	Permeab. Vapor Água		Coef. Capilaridade		Índice de Secagem		Porosidade aberta	
	(x10 <sup>-11</sup> ) (kg/(m.s.Pa))		kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )		-		%	
	60 d	120 d	60 d	120 d	60 d	120 d	60 d	120 d
Ref	1,56	1,50	2,66	1,80	0,11	0,16	22,0	18,7
LB	1,43	1,39	2,01	2,32	0,16	0,23	23,3	24,5
HB	1,26	1,27	2,63	2,55	0,19	0,26	27,6	25,5
LT	1,45	1,48	1,69	2,37	0,20	0,20	24,7	23,8
HT	1,31	1,33	2,40	2,21	0,15	0,24	26,7	26,8
LP	1,46	1,39	2,15	2,41	0,22	0,22	25,1	25,9
HP	1,17	1,19	2,55	2,23	0,29	0,25	30,9	30,4
LGB	1,21	1,21	1,96	1,85	0,20	0,21	20,9	24,3
HGB	1,43	1,59	2,23	2,07	0,22	0,23	26,0	29,0
LGT	1,22	1,38	2,02	1,75	0,20	0,20	20,6	22,7
HGT	1,22	1,28	2,24	2,04	0,22	0,23	23,4	26,7
LGP	1,54	1,49	1,97	1,87	0,20	0,22	22,0	25,5
HGP	2,01	2,19	1,98	1,70	0,24	0,21	30,4	29,0

Relativamente ao coeficiente de absorção de água por capilaridade (determinado com base na EN 15801:2009), verifica-se que, excepto para as argamassas com menor percentagem de resíduo integral, há uma tendência genérica para a redução da velocidade de absorção de água ao longo do tempo. Todas as argamassas apresentaram valores de coeficiente de capilaridade aos 60 dias inferiores ao da argamassa de referência.

O índice de secagem (determinado com base em [Brito et al. 2010]), excepto nas argamassas com maior percentagem de resíduo de vasos, tende a aumentar com a idade. No geral, a facilidade de secagem das argamassas diminui com a percentagem de resíduo.

A porosidade aberta (determinada com base na NP EN 1936:2008) das argamassas com resíduo aumenta com a percentagem de resíduo e aumenta mais com a idade nas argamassas só com resíduo grosso.

## B) Características mecânicas

As resistências à compressão foram determinadas de acordo com a norma de ensaio EN 1015-11:1999/A1:2006. Regista-se um aumento significativo com a idade, mais acentuado nas argamassas que contém uma percentagem elevada de resíduo, e, em particular, nas argamassas com resíduo integral. A introdução de resíduos cerâmicos incrementou sempre as resistências à compressão das argamassas comparativamente à de referência.

O módulo de elasticidade dinâmico foi realizado com base na norma de ensaio NP EN 14146:2006. As leituras de frequências foram realizadas longitudinalmente e os resultados apresentados foram determinados pelo método de cubicagem e pelo método de imersão (diferem apenas no cálculo da massa volúmica). Verifica-se que, de um modo geral, as argamassas com resíduos não ultrapassaram os valores da argamassa de referência, indiciando boa deformabilidade.

**Tabela 3** – Resistências à compressão e módulo de elasticidade dinâmico

Argamassa	$R_c$		Edl (MPa)			
	$[N/mm^2]$		60 dias		120 dias	
	60 d	120 d	Cubicagem	Imersão	Cubicagem	Imersão
Ref	0,20	0,64	1395	1419	1422	1443
LB	0,52	1,86	1893	1860	1114	1096
HB	1,27	4,81	1579	1519	1508	1427
LT	0,50	1,55	2004	1971	1181	1205
HT	1,15	5,52	1647	1572	1773	1738
LP	0,66	2,74	1280	1245	813	806
HP	1,44	7,69	1345	1289	1549	1503
LGB	0,52	2,56	1426	1478	1035	1106
HGB	0,72	3,10	831	975	875	982
LGT	0,42	2,20	1579	1568	1635	1703
HGT	0,63	4,00	1248	1367	1749	1866
LGP	0,55	3,17	1306	1413	1384	1459
HGP	0,59	3,84	869	968	851	947

## III. CONCLUSÕES

Com vista ao desenvolvimento de argamassas tecnicamente eficientes para aplicação na reabilitação de edifícios antigos e sustentáveis do ponto de vista ambiental, foram realizados diversos ensaios a argamassas de cal aérea com incorporação de resíduos de cerâmica, provenientes de três indústrias de cerâmica de barro vermelho. Cada um desses resíduos moídos foi utilizado integralmente ou dele foi removida a fracção fina e só utilizada a fracção grossa. Realizaram-se e caracterizaram-se argamassas em que duas diferentes proporções volumétricas de cada um desses resíduos substituíram parcialmente o volume de areia de rio. Desta forma, foi possível avaliar o impacto da substituição da areia por agregado de cerâmica, aferir qual a influência nas argamassas da presença de

resíduo de cada uma das indústrias (de tijolo, telha ou vasos) e da utilização do resíduo integral face à utilização apenas da fracção grossa.

Dos ensaios de caracterização física realizados pode concluir-se que as argamassas com resíduos: mantêm boa permeabilidade ao vapor de água, sem grandes alterações face à argamassa só de cal aérea, embora diminuam um pouco a velocidade de secagem; apresentam absorção capilar nos instantes iniciais também da mesma ordem de grandeza, sendo até ligeiramente menor nas argamassas com resíduo grosso; apresentam uma porosidade aberta da mesma ordem ou, especialmente a idade mais avançada, ligeiramente superior à da argamassa de referência.

Em termos de caracterização mecânica realizada pode concluir-se que as argamassas com resíduos, embora nalguns casos com ligeiramente maior porosidade aberta, apresentam um assinalável incremento das resistências à compressão, principalmente com o avanço da idade. Sendo a resistência à compressão em argamassas com base em cal aérea condicionada pela velocidade de carbonatação e sabendo-se que esta evolui com a idade, mas revelando-se que as argamassas com maior quantidade resíduo integral (contendo fração fina para além da mais grossa) têm um aumento bastante mais expressivo que as restantes, admite-se que a fracção fina dos resíduos apresente reatividade pozolânica. No entanto, o aumento das resistências mecânicas não é acompanhado por aumento do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas, o que indicia a manutenção de alguma capacidade de deformabilidade das argamassas com resíduos, que será muito vantajosa para aplicações em revestimentos.

Considera-se assim estar perante argamassas que poderão ter bom desempenho global, dadas as características estudadas. Face à argamassa de referência, houve melhorias no que diz respeito ao comportamento mecânico e, à exceção da velocidade de secagem, o comportamento face à água/vapor de água não teve variações significativas.

As argamassas com pó e agregado de resíduos de cerâmica na sua constituição revelaram-se as mais adequadas para o fim a que se destinam. Trata-se de argamassas bastante sustentáveis uma vez que: utilizam ligante com baixa temperatura de produção, consumo de dióxido de carbono durante o endurecimento, incorporação de resíduos valorizados por simples moagem que desta forma não têm de ir para aterro, consomem menos recursos naturais de areia (através do volume substituído por resíduo) e muito possivelmente parte do resíduo funciona como pozolana, conferindo características hidráulicas à argamassa e reforçando o seu teor global em ligante e, espera-se (a avaliar na prossecução do estudo em curso), a sua durabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, I. – Produção de resíduos na indústria cerâmica – Região Centro 2003. Região Centro: CCDRC, 2004.
- BINICI, H. - Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties - Construction and Building Materials 21 (2007), pág. 1191-1197, Elsevier Ltd..
- BOKE, H., AKKURT, S., İPEKOGLU B., UGURLU E. - Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters - Cement and Concrete Research 36 (2006), pág. 1115-1122, Elsevier Ltd..
- BRITO, V., GONÇALVES, T., FARIA, P. – Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport. J. Coat. Technol. Research. ISSN: 1547-0091.8:4 (2010) 513-525. 10.1007/s11998-010-9319-5.
- FARIA-RODRIGUES, P. e HENRIQUES, F. – Current mortars in conservation: an overview. Int. J. for Restoration 10:6 (2004) 609-622.

